

Patent Abstracts of Japan

PUBLICATION NUMBER : 2000063940
PUBLICATION DATE : 29-02-00

APPLICATION DATE : 12-08-98
APPLICATION NUMBER : 10228071

APPLICANT : SUMITOMO METAL IND LTD;

INVENTOR : KUSHIDA TAKAHIRO;

INT.CL. : C21D 6/00 C21D 8/10 // C22C 38/00 C22C 38/54

TITLE : PRODUCTION OF HIGH STRENGTH STEEL EXCELLENT IN SULFIDE STRESS
CRACKING RESISTANCE

ABSTRACT : PROBLEM TO BE SOLVED: To improve sulfide stress cracking resistance while maintaining high strength by subjecting a steel of specific composition to heating up to specific temperature, to holding for specific time, and to hardening, then subjecting the steel to reheating up to specific temperature at specific heating velocity, to holding for specific time, and to rehardening, and further carrying out tempering.

SOLUTION: The steel has a composition consisting of, by weight, 0.2-0.35% C, 0.05-0.5% Si, 0.1-1% Mn, 0.3-1.2% Cr, 0.2-1% Mo, 0.005-0.5% Al, 0.005-0.5% Ti, 0.0001-0.01% B, 0.05-0.5% Nb, 0-0.5% V, 0-1% W, 0-0.5% Zr, 0-0.01% Ca, and the balance Fe with inevitable impurities and satisfying $Ti+0.5Zr=0.005$ to 0.5%. The steel is heated up to 1,050 to 1,300°C, held for ≥ 10 min, and hardened. Subsequently, the steel is reheated up to 900 to 1,150°C at (20 to 50)°C/sec heating rate in the temperature range between 700 and 1,150°C, held for ≤ 3 min, and rehardened. Then, tempering is performed.

COPYRIGHT: (C)2000,JPO

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2000-63940

(P2000-63940A)

(43) 公開日 平成12年2月29日 (2000.2.29)

(51) Int.Cl. ⁷	識別記号	F I	ターミナル* (参考)
C 2 1 D 6/00		C 2 1 D 6/00	F 4 K 0 3 2
			X
8/10		8/10	C
// C 2 2 C 38/00	3 0 1	C 2 2 C 38/00	3 0 1 F
38/54		38/54	
審査請求 未請求 請求項の数 2 () L (全 12 頁)			

(21) 出願番号 特願平10-228071

(22) 出願日 平成10年8月12日 (1998.8.12)

(71) 出願人 000002118

住友金属工業株式会社

大阪府大阪市中央区北浜4丁目5番33号

(72) 発明者 大村 朋彦

大阪府大阪市中央区北浜4丁目5番33号住

友金属工業株式会社内

(72) 発明者 柳田 隆弘

大阪府大阪市中央区北浜4丁目5番33号住

友金属工業株式会社内

(74) 代理人 100103481

弁理士 森 道雄 (外1名)

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 耐硫化物応力割れ性に優れた高強度鋼の製造方法

(57) 【要約】

【課題】 高強度でありながら耐SSC性に優れた油井やガス井及びそれらに関連した諸設備や化学プラント設備などに好適なYSが110ksi級の高強度鋼の製造方法。

【解決手段】 0.05~0.5%のNb含有鋼に、1050~1300℃の温度域からの焼入れを施し、次いで再加熱後二段目の焼入れを施して細粒化した後焼戻しする。

【特許請求の範囲】

【請求項1】重量%で、C:0.2~0.35%、S:0.05~0.5%、Mn:0.1~1%、Cr:0.3~1.2%、Mo:0.2~1%、Al:0.005~0.5%、Ti:0.005~0.5%、B:0.0001~0.01%、Nb:0.05~0.5%、V:0~0.5%、W:0~1%、Zr:0~0.5%、Ca:0~0.01%を含み、Ti+0.5Zr:0.005~0.5%で、残部はFe及び不可避不純物からなり、不純物中のP:0.025%以下、S:0.01%以下、Ni:0.1%以下、N:0.01%以下、O(酸素):0.01%以下である鋼を、1050~1300℃の範囲内の温度に加熱し、その温度域で10分間以上保持した後焼入れし、次いで700~900℃の温度域の加熱速度を20~50℃/秒として900~1150℃の範囲内の温度に再加熱し、その温度域で3分間以内保持した後再焼入れし、その後、焼戻しをおこなうことを特徴とする110~155ksiの降伏応力を有する耐硫化物応力割れ性に優れた高強度鋼の製造方法。

【請求項2】請求項1に記載の化学組成の鋼を、1050~1300℃の温度に加熱し、その温度域で10分間以上保持して熱間加工をおこない、熱間加工終了後に直接焼入れし、次いで700~900℃の温度域の加熱速度を20~50℃/秒として900~1150℃の範囲内の温度に再加熱し、その温度域で3分間以内保持した後再焼入れし、その後、焼戻しをおこなうことを特徴とする110~155ksiの降伏応力を有する耐硫化物応力割れ性に優れた高強度鋼の製造方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、油井やガス井用のケーシングやチュービング、掘削用のドリルパイプ、輸送用のラインパイプおよび化学プラント用配管などに用いられる耐硫化物応力割れ性に優れた高強度鋼の製造方法に関する。

【0002】

【従来の技術】近年のエネルギー事情の逼迫に伴い、これまで敬遠されてきた硫化水素を多く含む原油や天然ガスが活用される情勢になってきており、それらの掘削、輸送、貯蔵等が必要となってきた。その上、油井やガス井の深井戸化に伴いこの分野で用いられる鋼材、特に鋼管については、これまで以上に高強度化が要求されている。

【0003】すなわち、従来広く用いられていた降伏応力(以下、YSと記す)の80ksi級(80~90ksi)や90ksi級(90超え、100ksi以下)の耐硫化物応力割れ性に優れた鋼管に代わって、最近では110ksi級(110~125ksi)や125ksi級(125超え、140ksi以下)の耐硫化物

応力割れ性に優れた高強度鋼管が使用されるようになった。さらに、YSが140ksi以上の耐硫化物応力割れ性に優れた超高強度鋼管に対する要求も高まりつつある。

【0004】一般に、鋼材はその強度が増すほど耐硫化物応力割れ性(以下、「硫化物応力割れ」を「SSC」という)がわるくなる。したがって、硫化水素を多く含む環境下で使用される鋼材の高強度化に対し、最も大きな課題となるのは耐SSC性の改善である。

【0005】この耐SSC性を改善するため、①鋼材の組織をマルテンサイトが約80%以上を占める組織とする、②高温で焼戻し処理する、③鋼を高纯净度化する、④鋼材の組織を細粒組織とする、などの対策がこれまでに講じられてきた。

【0006】これらのうち④の組織を細粒化する方法は、下記のような利点があるため特に注目され、研究、開発が進められてきた。

【0007】すなわち、第一の利点は、鋼材の強度が高くなるとその脆性割れは結晶粒単位あるいは所謂「破面単位」で進展するので、組織を細粒化すると割れに対する抑止力が増すことである。第二に、細粒化そのものも強度上昇に寄与すること、第三に細粒化すれば単位体積当たりの粒界面積が増加するので間接的に不純物元素の粒界偏析が軽減され粒界脆化が防止されることである。

【0008】鋼材組織の細粒化の一般的な手法として、変態、加工変形を利用する方法および加工変形後の再結晶時の粒成長を抑止する方法等がある。鋳造後の鋼塊を熱間で鋼管など所定の形状の鋼材に成形する際は、必然的に加工変形が加えられ、加工と再結晶の繰返しにより細粒化される。

【0009】しかし、加工後の強度を調整する熱処理における焼入れは一般にオーステナイト領域、つまり、Ac3点以上の温度に加熱しなければならないので、結晶粒成長が起きやすく、結晶を細粒にしておくには、焼入れ時の加熱温度を低くすることが望ましい。ところが、細粒であること、および焼入れ温度を低くすることは、焼入性を大きく低下させる要因となり、通常の冷却手段では焼入れ時に80%以上がマルテンサイトである十分な焼入れ組織を確保することが難しくなってくる。また、細粒化のために焼入れ温度を低くすると、焼入れ時に合金元素が基地に固溶し難くなって、鋼材を高強度化するためには低温焼戻しが必要となる。低温での焼戻しは後述するように耐SSC性を著しく低下させてしまう。一方、焼入性確保のために合金元素を多量に添加すれば、鋼の加工性を悪くし、製造コストの上昇の要因にもなる。

【0010】特開昭61-9519号公報には、急速加熱後に焼入れして細粒化する「耐硫化物腐食割れ性に優れた高強度鋼の製法」が開示されている。

【0011】特開昭59-232220号公報には、鋼

を2回焼入れして細粒化する「耐硫化物腐食割れ性に優れた高強度鋼の製法」が開示されている。

【0012】しかしながら、上記した公報に記載されている方法は、いずれも降伏応力 (YS) が90ksi級 (90超え、100ksi以下) や100ksi級 (100超え、110ksi以下) の高強度鋼を対象としたものである。これらの方法では、YSが110ksi以上の高強度になると、必ずしも所望の耐SSC性が得られなかった。

【0013】

【発明が解決しようとする課題】本発明の課題は、YSが110~155ksi (758~1068MPa) と高強度でありながら耐SSC性に優れた油井やガス井及びそれらに関連した諸設備や化学プラント設備などに好適な鋼の製造方法を提供することにある。

【0014】なお、耐SSC性の改善目標は、NACE (National Association of Corrosion Engineers) TM0177A法に規定された浴 (1気圧の硫化水素で飽和した25℃の0.5%酢酸+5%食塩水) 中で定荷重試験を行った時の割れ発生限界応力 (σ_{th}) が鋼のYSの80%以上であることである。前記の条件を満たせば、その鋼は昨今の厳しい腐食環境下での使用に充分耐え得ることが知られている。

【0015】

【課題を解決するための手段】本発明の要旨は、下記の耐硫化物応力割れ性に優れた高強度鋼の製造方法にある。

【0016】(1) 重量%で、C: 0.2~0.35%、Si: 0.05~0.5%、Mn: 0.1~1%、Cr: 0.3~1.2%、Mo: 0.2~1%、Al: 0.005~0.5%、Ti: 0.005~0.5%、B: 0.0001~0.01%、Nb: 0.05~0.5%、V: 0~0.5%、W: 0~1%、Zr: 0~0.5%、Ca: 0~0.01%を含み、Ti+0.5Zr: 0.005~0.5%で、残部はFe及び不可避不純物からなり、不純物中のP: 0.025%以下、S: 0.01%以下、Ni: 0.1%以下、N: 0.01%以下、O (酸素): 0.01%以下である鋼を、1050~1300℃の範囲内の温度に加熱し、その温度域で10分間以上保持した後焼入れし、次いで700~900℃の温度域の加熱速度を20~50℃/秒として900~1150℃の範囲内の温度に再加熱し、その温度域で3分間以内保持した後再焼入れし、その後、焼戻しをおこなうことを特徴とする110~155ksiの降伏応力を有する耐硫化物応力割れ性に優れた高強度鋼の製造方法。

【0017】(2) 上記(1)に記載の化学組成の鋼を、1050~1300℃の温度に加熱し、その温度域で10分間以上保持して熱間加工をおこない、熱間加工終了後に直接焼入れし、次いで700~900℃の温度

域の加熱速度を20~50℃/秒として900~1150℃の範囲内の温度に再加熱し、その温度域で3分間以内保持した後再焼入れし、その後、焼戻しをおこなうことを特徴とする110~155ksiの降伏応力を有する耐硫化物応力割れ性に優れた高強度鋼の製造方法。

【0018】なお、上記の「加熱速度」は、「被加熱材である鋼の中心部における平均加熱速度」をいう。

【0019】本発明者らは、耐SSC性を向上させる結晶粒微細化の効果につき検討した結果、結晶粒の微細化はYSが110ksi未満の鋼には有効であるが、110ksi以上の高強度鋼に対しては耐SSC性を向上させる作用が不安定になり、特にYSが120ksiを超える鋼に対しては、耐SSC性の向上効果が認められないことを確認した。

【0020】そこで、YSが110ksi以上の高強度で、耐SSC性に優れた鋼を製造する方法を開発すべく、鋼の化学組成および焼入れ手段につき種々実験を重ねた結果、以下の知見を得て本発明を完成するに至った。

【0021】a) 多量 (0.005~0.5%) のNbを含有させた鋼を、1050~1300という高温に加熱してNbの炭化物を基地に充分固溶させてから焼入れすれば、焼戻し軟化抵抗を極めて大きくすることができるので、高温での焼戻しが可能となり耐硫化物応力割れ性を高めることができると共に、大きな強度を付与することができる。

【0022】b) この高温焼入により粗大化した結晶粒は、急速再加熱して2段目の焼入れを施すことにより細粒化することができる。

【0023】

【発明の実施の形態】以下、本発明の製造方法において規定した各条件について詳しく説明する。なお、化学成分の含有量の「%」は「重量%」を示す。

【0024】(A) 化学組成

C: 0.2~0.35%

Cは、焼入れ性を高めて強度を向上させるのに有効な元素である。しかし、その含有量が0.2%未満では、焼入れ硬さが不足して高温での焼戻しでは目標とするYSで110~155ksiの高強度が得られない。一方、0.35%を超えると、炭化物が増加し、鋼中で拡散する「拡散性水素」のトラップサイトが多くなって吸蔵水素量 (トラップされた水素量) が増えるので耐SSC性が低下する。さらに、焼割れ感受性も増大する。したがって、Cの含有量は0.2~0.35%とした。C含有量の好ましい上限は0.3%である。

【0025】ここでいうトラップサイトとは、拡散ができないほど強力に水素を固定するのではなく、鋼中に固溶している水素が、その部分に存在する方がより安定であり、鋼の素地 (基地) の水素濃度レベルよりは相対的に濃度が高くなる局所的部分のことをいう。

【0026】Si: 0.05~0.5%

Siは、鋼の脱酸に有効な元素であり、焼戻し軟化抵抗を高めて耐SSC性を向上させる元素でもある。脱酸の目的からは0.05%以上の含有量とする必要がある。しかし、その含有量が0.5%を超えると靱性が低下し、また粒界強度が低くなるので耐SSC性も却って低下してしまう。したがって、Siの含有量は0.05~0.5%とした。なお、Si含有量の上限は0.3%とすることが好ましい。

【0027】Mn: 0.1~1%

Mnは、鋼の焼入れ性を確保するのに有効な元素である。この目的からは0.1%以上の含有量が必要である。しかし、1%を超えて含有させると粒界に偏析して耐SSC性及び靱性の低下を招く。したがって、Mnの含有量は0.1~1%とした。なお、Mn含有量の上限は望ましくは0.5%である。

【0028】Cr: 0.3~1.2%

Crは、焼入れ性を上げるとともに焼戻し軟化抵抗を高めて高温焼戻しを可能にし、耐SSC性を向上させる作用がある。前記の効果を確実に得るためには0.3%以上とする必要がある。しかし、1.2%を超えて含有させると、硫化水素を含む酸性の湿潤環境ではCrが活性溶解して腐食速度が大きくなり、鋼中の「拡散性水素」濃度が高くなって、却って耐SSC性の低下を招く。したがって、Crの含有量は0.3~1.2%とした。なお、Cr含有量の上限は0.5%とすることが好ましい。

【0029】Mo: 0.2~1%

Moは、Crと同様に焼入れ性を向上させるとともに、焼戻し軟化抵抗を高めて高温焼戻しを可能にし、耐SSC性を向上させる作用を有する。しかし、その含有量が0.2%未満では前記の効果が得られない。一方、1%を超えて含有させると、焼戻しで針状のMo炭化物が析出してその周辺の応力集中により耐SSC性が却って低下してしまう。したがって、Moの含有量は0.2~1%とした。なお、Mo含有量は0.3~0.8%とすることが好ましい。

【0030】Al: 0.005~0.5%

Alは、鋼の脱酸に必要な元素である。しかし、その含有量が0.005%未満ではその効果を充分得ることができない。一方、0.5%を超えて含有させると粗大なAl系介在物が多くなって靱性及び耐SSC性が低下する。したがって、Alの含有量は0.005~0.5%とした。Al含有量の望ましい範囲は0.01~0.1%である。なお、Alとは所謂「sol. Al (酸可溶Al)」を示す。

【0031】Ti: 0.005~0.5%およびTi+0.5Zr: 0.005~0.5%

Tiは、鋼中の不純物であるNをTiNとして固定する目的で添加する。また、N固定に必要とするよりも過剰

なTiは、炭化物となって微細に析出し、焼戻し軟化抵抗を高める効果を有する。Nの固定は、焼入れ性向上のために添加するBがBNとなるのを抑制し、Bを固溶状態に維持して充分な焼入れ性を確保するためである。しかし、Tiの含有量が0.005%未満ではその効果は充分でなく、0.5%を超えると炭化物が増加し靱性及び耐SSC性が低下する。したがって、Tiの含有量は0.005~0.5%とした。なお、Ti含有量は0.01~0.1%とすることが好ましい。

【0032】ただし、Zrを含有させる場合はZrの方がNとの親和力が強いので、炭化物の増加を防ぐため、Ti+0.50Zrが0.005~0.5%となるよう含有量を調整する必要がある。

【0033】B: 0.0001~0.01%

Bは、微量で鋼の焼入れ性を向上させる作用を有する。しかし、その含有量が0.0001%未満ではその効果が充分でなく、0.01%を超えると靱性及び耐SSC性が低下するため、Bの含有量は0.0001~0.01%とした。なお、B含有量の望ましい範囲は、0.0002~0.002%である。

【0034】Nb: 0.05~0.5%

Nbは、重要な役割を果たす元素で、1050℃を超えるような高温に加熱してNbの炭化物を基地に充分固溶させてから焼入れすれば、その後の焼戻し時に微細炭化物として析出して強化に大きく寄与する。また、Nb炭化物の固溶により焼戻し軟化抵抗を高めることができるので、高温焼戻しを可能とする。高温焼戻しにより「拡散性水素」のトラップサイトとなる転位を低減することができる。この効果を得るためにはNbを0.05%以上含有させる必要がある。一方、0.5%を超えて含有させると、高温焼入れしてもNbの炭化物を基地に充分固溶させることができなくなり、この溶け残った粗大なNb炭化物が「拡散性水素」のトラップサイトとなって吸蔵水素量が増えるので耐SSC性が低下する。したがって、Nbの含有量は0.05~0.5%とした。なお、上限は0.1%とすることが好ましい。

【0035】V: 0~0.5%

Vは、必要により含有させる元素で、含有させると焼戻し時に微細な炭化物として析出して、一層焼戻し軟化抵抗を高めることができ、高温焼戻しすることにより耐SSC性を改善する作用を発揮する。特に、Nbと複合して含有させることにより、一層の高温焼戻しが可能となるので、耐SSC性が大きく向上する。なお、前記の効果を確実に得るには、Vは0.005%以上の含有量とすることが好ましい。一方、0.5%を超えるとV炭化物が粗大化して強化に寄与しなくなることに加え、その粗大炭化物が「拡散性水素」のトラップサイトとなって吸蔵水素量が増えるので却って耐SSC性が低下する。このため、Vの含有は0~0.5%とした。なお、V含有量の上限は0.3%とすることが好ましい。

【0036】W: 0~1%

Wは、必要により含有させる元素で、Moと同様に焼入れ性を高めるとともに、焼戻し軟化抵抗を高めることができ、高温焼戻しすることにより耐SSC性を向上させる作用を発揮する。前記の効果を確実に得るには、Wの含有量は0.3%以上とすることが好ましい。しかし、1%を超えて含有させると析出炭化物の粗大化が起こって前記の効果が飽和あるいは低下するのに加え、粗大化した炭化物が「拡散性水素」のトラップサイトとなって水素吸蔵量が増えるので却って耐SSC性が低下する。したがって、Wの含有量は0~1%とした。なお、W含有量の上限は0.7%とすることが好ましい。

【0037】Zr: 0~0.5%

Zrは、必要により含有させる元素で、含有させると降伏点伸びが向上し、結果として耐SSC性が向上する。なお、前記の効果を確実に得るには0.1%以上の含有量とすることが好ましい。一方、Zr含有量が0.5%を超えると上記の効果が飽和するばかりか、粗大炭化物が生成し、その粗大化した炭化物が「拡散性水素」のトラップサイトとなって水素吸蔵量が増えるので却って耐SSC性が低下する。したがって、Zrの含有量は0~0.5%とした。なお、Zr含有量の上限は0.45%とすることが好ましい。

【0038】Ca: 0~0.01%

Caも必要により含有させる元素で、含有させると鋼中のSと結合して硫化物を形成し、介在物の形状を改善して耐SSC性を向上させる。なお、前記の効果を確実に得るには、0.0001%以上含有させるのが好ましい。しかし、その含有量が0.01%を超えると、却って耐SSC性が低下するばかりか靱性も低下し、鋼材表面に地疵などの欠陥が発生し易くなる。したがって、Caの含有量は0~0.01%とした。

【0039】P: 0.025%以下

Pは、不純物として鋼中に不可避免的に存在するが、粒界に偏析して耐SSC性を劣化させてしまう。特に、その含有量が0.025%を超えると耐SSC性の劣化が著しくなる。このため、不純物として混入するとしてもその含有量は0.025%以下にする必要がある。耐SSC性を高めるためにPの含有量は、できるだけ低くすることが望ましい。

【0040】S: 0.01%以下

Sは、Pと同様に不純物として鋼中に不可避免的に存在するが、硫化物系の介在物となって粒界に析出し耐SSC性を低下させてしまう。特に、その含有量が0.01%を超えると耐SSC性の低下が著しくなる。したがって、不純物として混入するとしてもその含有量は0.01%以下にする必要がある。耐SSC性を高めるためにSの含有量は、できるだけ低くすることが望ましい。

【0041】Ni: 0.1%以下

Niは、不純物として鋼中に存在し、耐SSC性を低下

させる。特に、Niの含有量が0.1%を超えると耐SSC性の低下が著しくなるので上限を0.1%とした。できるだけ少なくすることが望ましい。

【0042】N: 0.01%以下

Nは、不純物として鋼中に存在し、粒界に偏析して靱性及び耐SSC性を低下させる。しかし、その含有量が0.01%以下であれば許容できることから、上限を0.01%とした。Nは、鋼の溶製過程で大気中などから鋼中に侵入するので、その含有量を0(ゼロ)にすることは工業的には極めて難しいが、できるだけ少なくすることが望ましい。

【0043】O(酸素): 0.01%以下

Oは、不純物として鋼中に存在し、粒界に偏析して靱性及び耐SSC性を低下させる。しかし、その含有量が0.01%以下であれば許容できることから、上限を0.01%とした。できるだけ少なくすることが望ましい。

【0044】(B)熱処理条件

1) 焼入れ

上記の化学組成を有する鋼は、通常の方法で溶製された後、通常の鍛造、穿孔や圧延などの熱間加工によって鋼管や鋼板など所定の形状の鋼材に成形される。次いで、この鋼材に所望の強度や耐SSC性を付与するため、1050~1300℃の高温域からの焼入れが施され、その後さらに、急速加熱手段により再加熱され700~900℃の温度域からの2段目の焼入れが施されて、焼戻しされる。

【0045】なお、鍛造、穿孔、圧延などの熱間加工は通常条件でおこなえばよいが、鋼塊、ビレットやスラブといった鋼片を1000~1250℃の温度域に加熱し、表面疵などの発生防止の点から900~1100℃の温度で鋼管や鋼板など所定の形状の鋼材に仕上げることを望ましい。

【0046】一段目の焼入れを、1050~1300℃の高温域からおこなうのは、Nbを基地中に完全に固溶させるためである。この焼入れ温度が1050℃未満ではNbの固溶が不十分なため、焼戻し時の軟化抵抗を向上させることができないので、所望の強度が得られない。一方、1300℃を超える温度では鋼表面に生成する酸化スケールが多くなり、酸化スケールの除去が困難となる等の問題が生じるため、上限を1300℃とした。

【0047】1050~1300℃の温度域での保持時間は、オーステナイト化を均一にするため10分以上とする必要がある。なお、この保持時間は鋼材の温度が1050℃に達してから時間であり、1050~1300℃の温度域での温度パターンはどのようなものであってもよい。保持時間の上限は、限定するものではないが、長くする必要はなく結晶粒の粗粒化を抑制するためには短いほうが好ましい。

【0048】また、鋼塊やピレットを1050℃～1300℃に加熱し、10分以上保持した後、鍛造、穿孔、圧延等の熱間加工を施し、その直後に焼入れを行う「直接焼入れ法」を用いても同様のNBを基底に完全固溶させる効果が得られる。

【0049】このようにして、1段目の高温焼入れを施した後、700～900℃の温度域の加熱速度を20～50℃/秒として900～1150℃の範囲内の温度に再加熱し、3分間以内の時間保持した後2段目の焼入れが施される。この焼入れは、1段目の高温焼入れのため結晶粒が粗大化しているため、細粒化するためにおこなう。

【0050】700℃～900℃の温度域での加熱速度を20～50℃/秒とするのは、焼入れのための加熱に際して、700℃以上の温度域の加熱速度がオーステナイト粒の成長に大きな影響を及ぼすために規制するもので、加熱速度が20℃/秒未満では、900～1150℃の温度域に加熱昇温すると結晶粒が粗大化してしまう。一方、50℃/秒を超えると混粒が生じて耐SSC性が低下する。したがって、700℃～900℃の温度域での加熱速度を20～50℃/秒とした。

【0051】なお、700℃未満の温度域の加熱速度は特に規制しなくてもよいが、生産性の面から、例えば50℃/分以上とすることが好ましい。

【0052】20～50℃/秒の加熱速度を得るための加熱手段は、どのような手段であってもよいが、高周波加熱が好適である。ここで、「加熱速度」とは、既に述べたように、「被加熱材の鋼の中心部の700℃から900℃までの平均加熱速度」のことを指す。

【0053】次に、加熱温度を900～1150℃としたのは、900℃未満では再結晶（変態時にフェライト粒内から細粒のオーステナイト粒が生成）が不十分で細粒化の効果が得られないからで、また1150℃を超えると、前記した加熱速度で加熱しても結晶粒が粗大化し

てしまうからである。

【0054】さらに、900～1150℃の温度域での保持時間を3分以内とするのは、3分を超えると結晶粒が粗大化してしまうからである。前記温度域での保持時間の下限は特に制限されるものではないが、オーステナイト化を均一にするために30秒以上の保持時間とすることが望ましい。焼入れの温度はオーステナイト単相領域であれば特に問題はないが、十分な焼入れ性を確保するために950℃以上の温度とすることが好ましい。

【0055】なお、900～1150℃の温度域での温度パターンはどのようなものであってもよい。

【0056】また第一段目および第二段目の焼入れ方法は、鋼の化学組成に応じて適宜油焼入れや水焼入れなど通常の焼入れ方法でよい。予め鋼の化学組成に応じて予備調査した結果に基づいて十分な焼入れ組織（例えば、マルテンサイトが約80%以上であるような組織）となるように焼入れ方法を決定すればよい。

【0057】2) 焼戻し

焼戻しはAC1点以下の温度でおこなえばよく、その温度は特に制限されるものではない。しかし、YSが110k s i以上の高強度鋼材において目標とする耐SSC性を確保するためには、680℃以上の温度で焼戻し処理を施すのが望ましい。焼戻し後の冷却方法も特に制限されるものではなく、放冷、風冷、ミスト水冷や水冷など通常の冷却方法でよい。

【0058】

【実施例】表1～3に示す化学組成を有する鋼を、150kg真空溶解炉を用いて通常の方法により溶製した。表1における鋼A～Hは、化学組成が本発明で規定する範囲内にある本発明例の鋼、表2～3における鋼I～9は成分のいずれかが本発明で規定する量から外れた比較例の鋼である。

【0059】

【表1】

表1

鋼	化 学 組 成 (重量%)														残部: Fe及び不溶物		A _{C1} 点 (℃)	区 分
	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Al	Ti	B	Nb	Ni	N	O	その他			
A	0.22	0.12	0.21	0.012	0.0011	0.49	0.72	0.038	0.025	0.0004	0.061	0.02	0.0056	0.0031			780	本 発 明 例
B	0.25	0.44	0.32	0.018	0.0045	0.82	0.91	0.248	0.028	0.0005	0.460	0.04	0.0023	0.0022			852	
C	0.26	0.24	0.78	0.011	0.0021	0.46	0.66	0.031	0.034	0.0007	0.091	0.01	0.0018	0.0015	V:0.15		774	
D	0.31	0.15	0.22	0.011	0.0014	0.38	0.53	0.053	0.124	0.0028	0.052	0.02	0.0024	0.0026	W:0.51, Ca:0.006		763	
E	0.26	0.13	0.34	0.012	0.0014	0.47	0.71	0.086	0.062	0.0003	0.122	0.01	0.0032	0.0024	Zr:0.39		795	
F	0.23	0.15	0.33	0.018	0.0022	0.66	0.74	0.035	0.035	0.0007	0.110	0.01	0.0022	0.0022	V:0.20, W:0.32		787	
G	0.24	0.23	0.22	0.011	0.0028	0.51	0.40	0.055	0.021	0.0009	0.051	0.01	0.0028	0.0018	V:0.14, Zr:0.22		770	
H	0.27	0.24	0.24	0.012	0.0015	0.43	0.71	0.032	0.018	0.0008	0.088	0.01	0.0031	0.0027	W:0.44, Zr:0.18		791	

G: Ti+0.5Zr=0.131

H: Ti+0.5Zr=0.108

【0060】

【表2】

表2

鋼	化 学 組 成 (重量%)														残部: Fe 及び不純物		Ac点 (℃)	区 分
	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Al	Ti	B	Nb	Ni	N	O	その他			
I	0.15*	0.14	0.25	0.013	0.0015	0.51	0.70	0.031	0.018	0.0005	0.134	0.05	0.0021	0.0023		788	比 較 例	
J	0.45*	0.20	0.20	0.016	0.0021	0.54	0.78	0.036	0.024	0.0008	0.059	0.01	0.0066	0.0021	Zr: 0.21	783		
K	0.22	0.03*	0.45	0.011	0.0018	0.44	0.73	0.056	0.032	0.0006	0.089	0.01	0.0025	0.0038	V: 0.04	776		
L	0.23	0.74*	0.40	0.004	0.0029	0.48	0.72	0.038	0.022	0.0034	0.004	0.02	0.0020	0.0021	V: 0.08, Ca: 0.006	792		
M	0.30	0.13	0.05*	0.006	0.0012	0.58	0.70	0.034	0.018	0.0033	0.144	0.03	0.0028	0.0039	V: 0.04, W: 0.31	800		
N	0.25	0.17	1.23*	0.008	0.0014	0.47	0.54	0.031	0.016	0.0038	0.065	0.07	0.0014	0.0032	V: 0.25	754		
O	0.27	0.15	0.24	0.048*	0.0011	0.42	0.78	0.030	0.017	0.0015	0.084	0.04	0.0018	0.0020	V: 0.04	782		
P	0.28	0.31	0.28	0.006	0.0118*	0.54	0.73	0.096	0.023	0.0005	0.081	0.02	0.0021	0.0021	Ca: 0.005	777		
Q	0.22	0.23	0.50	0.008	0.0022	0.19*	0.75	0.034	0.024	0.0008	0.056	0.02	0.0034	0.0023	W: 0.08, Ca: 0.008	771		
R	0.24	0.12	0.48	0.009	0.0019	1.52*	0.69	0.078	0.035	0.0016	0.068	0.01	0.0026	0.0020	V: 0.06, W: 0.64, Zr: 0.06	794		
S	0.25	0.14	0.38	0.011	0.0013	1.01	0.14*	0.186	0.015	0.0006	0.145	0.03	0.0044	0.0033	V: 0.05, W: 0.21, Zr: 0.22	776		
T	0.30	0.18	0.76	0.012	0.0014	0.93	1.25*	0.039	0.018	0.0017	0.061	0.01	0.0032	0.0041	V: 0.20	786		
U	0.31	0.15	0.25	0.014	0.0018	0.43	0.74	0.002*	0.023	0.0009	0.063	0.02	0.0024	0.0034	V: 0.04	781		
V	0.33	0.22	0.22	0.011	0.0019	0.40	0.72	0.050	0.014	0.0004	0.067	0.01	0.0043	0.0032		-		

* 本発明で規定する範囲外を示す。 J: Ti+0.5Zr=0.129 R: Ti+0.5Zr=0.065 S: Ti+0.5Zr=0.125

【0061】

【表3】

表3

鋼	化 学 組 成 (重量%)														残 部 : Fe 及び不 純物		Ac点 (℃)	区 分
	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Al	Ti	B	Nb	Ni	N	O	その他			
W	0.24	0.24	0.31	0.009	0.0023	0.49	0.74	0.034	0.003*	0.0007	0.079	0.02	0.0017	0.0036	W:0.65	784	比 較 例	
X	0.25	0.15	0.85	0.008	0.0028	0.48	0.89	0.048	0.654*	0.0006	0.083	0.01	0.0035	0.0030	V:0.06	773		
Y	0.22	0.25	0.23	0.012	0.0023	0.49	0.55	0.029	0.186	- *	0.109	0.04	0.0026	0.0033	V:0.05, Zr:0.31, Ca:0.006	787		
Z	0.27	0.23	0.28	0.010	0.0027	0.53	0.49	0.026	0.018	0.0128*	0.116	0.03	0.0018	0.0038	Ca:0.005	778		
1	0.25	0.18	0.36	0.007	0.0015	0.47	0.86	0.067	0.024	0.0005	0.023*	0.02	0.0031	0.0019	V:0.08, Zr:0.05	765		
2	0.25	0.17	0.29	0.012	0.0018	0.46	0.71	0.051	0.027	0.0003	0.672*	0.01	0.0025	0.0067	V:0.05, Zr:0.08	-		
3	0.35	0.16	0.48	0.013	0.0026	0.51	0.72	0.035	0.027	0.0007	0.081	0.02	0.0022	0.0031	V:0.62*, Zr:0.23	762		
4	0.23	0.14	0.34	0.009	0.0026	0.50	0.73	0.032	0.011	0.0003	0.089	0.03	0.0024	0.0029	W:1.24*, Ca:0.005	786		
5	0.24	0.22	0.29	0.012	0.0018	0.58	0.62	0.092	0.025	0.0006	0.062	0.03	0.0026	0.0027	Zr:0.65*	791		
6	0.22	0.29	0.33	0.014	0.0014	0.53	0.65	0.035	0.024	0.0026	0.108	0.01	0.0034	0.0018	Ca:0.019*	790		
7	0.27	0.14	0.39	0.013	0.0013	0.67	0.79	0.038	0.017	0.0008	0.065	0.20*	0.0028	0.0024	V:0.07	776		
8	0.28	0.18	0.24	0.009	0.0027	0.54	0.78	0.031	0.015	0.0004	0.069	0.01	0.0119*	0.0024	V:0.06	782		
9	0.27	0.28	0.26	0.011	0.0024	0.46	0.71	0.032	0.021	0.0005	0.063	0.03	0.0036	0.0121	W:0.05	781		

* 本発明で規定する範囲外を示す。 1: Ti+0.5Zr=0.049 2: Ti+0.5Zr=0.067 3: Ti+0.5Zr=0.152

【0062】これらの鋼塊を通常の方法によって1250℃に加熱してから熱間鍛造して厚さ:40mm、幅:80mm、長さ:250mmの鋼片とした。この鋼片を下記(1)(2)の2種類の圧延、熱処理を施した。表4~7にこれらの条件を示す。なお、(1)での熱間圧延は直接焼入れのための圧延ではないので、表4~7中で「熱間圧延」の項に「無」とし、(2)での熱間圧延は直接焼入れのための圧延であるので「有」と記載した。

【0063】(1)鋼片を1250℃に1時間加熱してから圧延仕上げ温度950℃で厚さ1.4mmに熱間圧延し、さらに、平面研削により厚さ1.2mmに仕上げた。

【0064】この厚さ1.2mmの鋼板を1050℃~1300℃の温度域に加熱して焼入れを施し、その後900℃~1150℃に再加熱して焼入れした後、表4~7に示す種々の温度で焼戻し処理をおこなった。なお、焼入れは水焼入れとし、各供試鋼の化学組成及び焼入れ条件に応じて所要の強度が得られるように焼戻し条件を変化させた。

【0065】(2)1050~1300℃の温度域に加熱して熱間圧延を施して厚さ1.4mmに仕上げた後直接焼入れし、次いで900℃~1150℃に再加熱して焼入れした後、表4~7に示す種々の温度で焼戻し処理を行った。焼入れは水焼入れとし、各供試鋼の化学組成及

び焼入れ条件に応じて所要の強度が得られるように焼戻し条件を変化させた。

【0066】

【表4】

表4

試験番号	鋼	焼入れ条件				再焼入れ条件				焼戻温度 (℃)	引張特性		耐性	区分
		加熱温度 (℃)	保持時間 (分)	焼入温度 (℃)	熱間圧延	加熱温度 (℃)	加熱速度 (℃/秒)	保持時間 (分)	焼入温度 (℃)		YS (ksi)	TS (ksi)		
1	A	1250	15	1200	無	1100	40	0.5	1000	700	147.6	155.1	無	本 発 明 例
2	A	1250	15	1200	"	1100	40	0.5	1000	720	130.6	138.4	"	
3	A	1250	15	1200	"	1100	40	0.5	1000	740	120.9	125.8	"	
4	A	1250	15	1200	"	950	30	1	900	700	146.2	153.4	"	
5	A	1250	15	1200	"	950	30	1	900	720	128.1	134.5	"	
6	A	1250	15	1200	"	950	30	1	900	740	118.4	125.8	"	
7	A	1250	60	1000	有	1050	50	0.5	950	700	146.3	154.9	"	
8	A	1250	60	1000	"	1050	50	0.5	950	720	132.1	138.6	"	
9	A	1250	60	1000	"	1050	50	0.5	950	740	122.4	129.1	"	
10	A	1200	15	1100	無	1100	40	2	1000	700	153.4	159.8	"	
11	A	1200	15	1100	"	1100	40	2	1000	720	130.1	139.6	"	
12	A	1200	15	1100	"	1100	40	2	1000	740	119.6	127.1	"	
13	A	1100	20	950	有	1000	20	1	900	700	147.1	155.6	"	
14	A	1100	20	950	"	1000	20	1	900	720	134.4	142.5	"	
15	A	1100	20	950	"	1000	20	1	900	740	114.8	122.5	"	
16	B	1250	15	1100	無	1100	40	0.5	1000	710	146.1	155.9	"	
17	B	1250	15	1100	"	1100	40	0.5	1000	730	135.2	143.7	"	
18	B	1250	15	1100	"	1100	40	0.5	1000	750	119.2	126.6	"	
19	C	1250	15	1200	"	1050	40	0.5	1000	720	147.9	154.0	"	
20	C	1250	15	1200	"	1050	40	0.5	1000	740	134.5	141.2	"	
21	C	1250	15	1200	"	1050	40	0.5	1000	760	120.8	129.4	"	
22	D	1200	15	950	有	1000	40	1	950	700	148.9	155.4	"	
23	D	1200	15	950	"	1000	40	1	950	720	135.2	141.3	"	
24	D	1200	15	950	"	1000	40	1	950	740	119.6	126.4	"	
25	E	1250	15	1200	無	1100	20	2	1000	710	142.7	148.9	"	
26	E	1250	15	1200	"	1100	20	2	1000	730	129.3	136.6	"	
27	E	1250	15	1200	"	1100	20	2	1000	750	118.3	127.3	"	
28	F	1250	15	1200	"	1000	40	0.5	900	720	148.7	156.3	"	
28	F	1250	15	1200	"	1000	40	0.5	900	740	131.0	139.1	"	
28	F	1250	15	1200	"	1000	40	0.5	900	760	120.4	127.9	"	

加熱速度：700～900℃における値である。 YS：降伏応力

耐SSC：定荷重試験における破断の有無

TS：引張強さ

【0067】

【表5】

表5

表5

試 驗 番 号	鋼	焼入れ条件				再焼入れ条件				焼戻引張特性				耐 性	区 分
		加熱 温度 (℃)	保持 時間 (分)	焼入 温度 (℃)	焼間 延延 (℃)	加熱 温度 (℃)	加熱 速度 (℃/秒)	保持 時間 (分)	焼入 温度 (℃)	温度 (℃)	YS (ksi)	TS (ksi)	SSC 性		
29	G	1250	15	1200	無	1100	40	0.5	1000	720	146.8	153.2	無	本 発 明 例	
30	G	1250	15	1200	"	1100	40	0.5	1000	740	131.2	139.5	"		
31	C	1250	15	1200	"	1100	40	0.5	1000	760	120.1	127.4	"		
32	H	1250	15	1200	"	1100	30	0.5	1000	700	147.4	155.1	"		
33	H	1250	15	1200	"	1100	30	0.5	1000	720	129.3	137.1	"	比 較 例	
34	H	1250	15	1200	"	1100	30	0.5	1000	740	119.4	126.7	"		
35	A	1000*	15	1200	"	1100	40	0.5	1050	660	127.5	135.6	右		
36	A	1000*	15	1200	"	1100	40	0.5	1050	680	115.2	121.3	"		
37	A	1250	5*	1200	"	1100	40	0.5	1050	720	128.6	134.7	"	比 較 例	
38	A	1250	5*	1200	"	1100	40	0.5	1050	740	120.0	129.3	"		
39	A	1250	15	1200	"	800*	40	2	700	720	126.3	131.8	"		
40	A	1250	15	1200	"	800*	40	2	700	740	117.2	125.9	"		
41	A	1250	15	1200	"	1200*	40	0.5	1100	720	129.4	136.8	"	比 較 例	
42	A	1250	15	1200	"	1200	40	0.5	1100	740	117.3	124.0	"		
43	A	1250	15	1200	"	1100	10*	0.5	1000	720	127.4	136.1	"		
44	A	1250	15	1200	"	1100	10*	0.5	1000	740	114.2	121.9	"		
45	A	1250	15	1200	"	1100	60*	0.5	1000	720	125.3	131.4	"	比 較 例	
46	A	1250	15	1200	"	1100	60*	0.5	1000	740	116.2	124.8	"		
47	A	1250	15	1200	"	1100	40	4*	1000	720	126.9	131.2	"		
48	A	1250	15	1200	"	1100	40	4*	1000	740	119.4	127.4	"		
49	I*	1250	15	1200	"	1100	40	1	1000	660	128.4	134.6	"	比 較 例	
50	I*	1250	15	1200	"	1100	40	1	1000	680	114.6	123.6	"		
51	J*	1250	15	1200	"	1100	40	0.5	1000	700	129.6	136.4	"		
52	J*	1250	15	1200	"	1100	40	0.5	1000	720	118.4	126.9	"		
53	K*	1250	15	1200	"	1100	20	0.5	1000	740	129.0	137.4	"	比 較 例	
54	K*	1250	15	1200	"	1100	20	0.5	1000	760	119.0	127.2	"		
55	L*	1250	15	1200	"	1100	40	0.5	1000	740	128.1	137.9	"		
56	L*	1250	15	1200	"	1100	40	0.5	1000	760	120.7	129.5	"		
57	M*	1250	15	1200	"	1100	40	0.5	1000	740	129.6	136.4	"	比 較 例	
58	M*	1250	15	1200	"	1100	40	0.5	1000	760	120.4	129.6	"		

加熱速度：700～900℃における値である。

YS：降伏応力

SSC：定荷重試験における破断の有無

TS：引張強さ

*：本発明で規定する範囲外を示す

表6

試験 番号	鋼	焼入れ条件				再焼入れ条件				焼戻 温度 (℃)	引張特性			区 分
		加熱 温度 (℃)	保持 時間 (分)	焼入 温度 (℃)	熱間 圧延	加熱 温度 (℃)	加熱 速度 (℃/秒)	保持 時間 (分)	焼入 温度 (℃)		YS (ksi)	TS (ksi)	SSC 性	
59	N*	1250	15	1200	無	1100	40	0.5	1000	730	127.1	134.8	有	比 較 例
60	N*	1250	15	1200	"	1100	40	0.5	1000	750	119.5	128.1	"	
61	O*	1250	15	1200	"	1100	40	0.5	1000	740	126.3	133.2	"	
62	O*	1250	15	1200	"	1100	40	0.5	1000	760	118.4	126.5	"	
63	P*	1250	15	1200	"	950	30	0.5	900	720	128.2	134.4	"	
64	P*	1250	15	1200	"	950	30	0.5	900	740	117.4	125.2	"	
65	Q*	1250	15	1200	"	1100	50	0.5	1000	710	129.3	137.9	"	
66	Q*	1250	15	1200	"	1100	50	0.5	1000	730	122.0	131.1	"	
67	R*	1250	15	1200	"	1100	40	0.5	1000	730	130.4	139.5	"	
68	R*	1250	15	1200	"	1100	40	0.5	1000	750	120.1	127.4	"	
69	S*	1200	15	1200	"	1100	40	0.5	1000	740	130.7	138.7	"	
70	S*	1200	15	1200	"	1100	40	0.5	1000	760	119.2	127.4	"	
71	T*	1250	60	950	有	1100	20	1	1000	740	127.1	136.4	"	
72	T*	1250	60	950	"	1100	20	1	1000	760	116.4	124.3	"	
73	U*	1250	15	1200	無	1100	40	0.5	1000	740	131.8	139.9	"	
74	U*	1250	15	1200	"	1100	40	0.5	1000	760	120.6	127.4	"	
75	V*	1250	15	1200	"	1100	40	0.5	1000	720	135.1	144.7	"	
76	V*	1250	15	1200	"	1100	40	0.5	1000	740	121.4	130.8	"	
77	W*	1250	15	1200	"	1050	40	0.5	1000	720	130.1	137.6	"	
78	W*	1250	15	1200	"	1050	40	0.5	1000	740	119.4	126.1	"	
79	X*	1250	15	1200	"	1100	40	0.5	1000	740	128.8	137.7	"	
80	X*	1250	15	1200	"	1100	40	0.5	1000	760	118.2	126.0	"	
81	Y*	1200	15	1200	"	1100	40	1	1000	740	134.2	140.7	"	
82	Y*	1200	15	1200	"	1100	40	1	1000	760	120.1	127.3	"	
83	Z*	1250	15	1200	"	1100	40	2	1000	730	129.4	136.2	"	
84	Z*	1250	15	1200	"	1100	40	2	1000	750	118.3	127.0	"	
85	1*	1250	15	1200	"	1100	40	0.5	1000	680	128.4	137.3	"	
86	1*	1250	15	1200	"	1100	40	0.5	1000	700	118.4	125.3	"	
87	2*	1250	15	1200	"	1000	40	0.5	900	740	131.7	139.0	"	
88	2*	1250	15	1200	"	1000	40	0.5	900	760	121.0	126.9	"	

加熱速度 : 700~900℃における値である。 YS : 降伏応力

耐SSC : 定荷重試験における破断の有無 TS : 引張強さ

* : 本発明で規定する範囲外を示す

表7

試験番号	鋼	焼入れ条件				再焼入れ条件				焼戻し引張特性			耐SSC性	区分
		加熱温度(℃)	保持時間(分)	焼入温度(℃)	熱間圧延	加熱温度(℃)	加熱速度(℃/秒)	保持時間(分)	焼入温度(℃)	温度(℃)	YS(ksi)	TS(ksi)		
89	3*	1250	15	1200	無	1100	40	0.5	1000	740	125.1	133.1	有	比較例
90	3*	1250	15	1200	"	1100	40	0.5	1000	760	118.3	125.2	"	
91	4*	1250	15	1200	"	1100	40	0.5	1000	730	125.5	132.3	"	
92	4*	1250	15	1200	"	1100	40	0.5	1000	750	117.4	125.1	"	
93	5*	1250	15	1200	"	950	30	0.5	900	720	127.3	133.0	"	
94	5*	1250	15	1200	"	950	30	0.5	900	740	116.9	124.1	"	
95	6*	1250	15	1200	"	1100	50	0.5	1000	720	123.8	131.0	"	
96	6*	1250	15	1200	"	1100	50	0.5	1000	740	120.1	129.3	"	
97	7*	1250	15	1200	"	1100	40	0.5	1000	740	128.4	134.5	"	
98	7*	1250	15	1200	"	1100	40	0.5	1000	760	119.2	124.6	"	
99	8*	1200	15	1200	"	1100	40	0.5	1000	740	130.0	137.7	"	
100	8*	1200	15	1200	"	1100	40	0.5	1000	760	118.2	126.4	"	
101	9*	1250	60	950*	有	1100	20	1	1000	740	129.0	135.4	"	
102	9*	1250	60	950*	"	1100	20	1	1000	760	115.4	121.3	"	

加熱速度：700～900℃における値である。YS：降伏応力

耐SSC：定荷重試験における破断の有無

TS：引張強さ

*：本発明で規定する範囲外を示す

【0070】上記(1)(2)に示した圧延、熱処理を施した厚さ12mmの鋼板から圧延方向に平行にJIS Z 2201に規定される14B号の引張試験片を採取し、常温(室温)で引張試験をおこなって、降伏応力(YS)と引張強さ(TS)を測定した。

【0071】焼戻し後の厚さ12mmの鋼板の厚み中央部からは圧延方向に平行に、平行部の直径が6.35mmで長さが25.4mmの丸棒引張試験片を採取し、NACE TM0177A法に準拠した方法で耐SSC性の評価もおこなった。すなわち、1気圧の硫化水素で飽和した25℃の0.5%酢酸+5%食塩水中で定荷重試験をおこない耐SSC性を評価した。定荷重試験における負荷応力は、前記の常温引張試験で得られたYSの80%、試験時間は720時間とし、この試験中に破断が生じなかった場合に耐SSC性が良好と判定した。

【0072】上記の各種試験結果を、表4～7に併せて示した。

【0073】表4～5から明らかなように、鋼の化学組成が本発明で規定する範囲にあり、しかも熱処理条件が本発明で規定する範囲にある場合(試験番号1～34)は、いずれも定荷重試験で破断を生ずることがなく、耐SSC性は良好であった。

【0074】これに対し、鋼の化学組成と熱処理条件のいずれかが本発明で規定する範囲から外れた場合には、表5～7から明らかなように、すべて定荷重試験で破断を生じ、耐SSC性に劣っていた。

【0075】すなわち、鋼の化学組成は本発明で規定する範囲にあるが、熱処理条件が本発明で規定する範囲から外れる場合(試験番号35～48)は、いずれも定荷重試験で破断が生じ、耐SSC性に劣っていた。なお、本実施例では、YSが110ksi級(YSが110～125ksi)及び125ksi級(YSが125～1

40ksi)になるように強度を調整した鋼の試験結果を示したが、このYSレベルで定荷重試験中に破断が生じれば、これらの鋼を低温で焼戻しして140ksi級(YSが140～155ksi)の高強度にすれば、一層短時間で破断してしまうことは言うまでもない。

【0076】表5の試験番号35及び36は、第一段目の焼入れ温度が低過ぎNbが十分に固溶しなかったため、焼戻し軟化抵抗が向上してなく、耐SSC性が低下した。試験番号37及び38は第一段目の焼入れ時の保持時間が短いため、均一にオーステナイト化しておらず耐SSC性が低下した。

【0077】試験番号39及び40は、第二段目の焼入れ温度が低いため細粒化が充分でなく、耐SSC性が低下した。一方、試験番号41及び42は、二段目の焼入れ温度が高いため粗粒化により耐SSC性が低下した。試験番号43及び44は第二段目の加熱速度が小さいので細粒化が充分でなく、耐SSC性が悪くなっている。一方、試験番号45及び46は、加熱速度が大きすぎるので混粒組織となり、耐SSC性が低くなった。試験番号47及び48は、保持時間が長すぎるため粗粒化を起こし、耐SSC性が低下した。

【0078】一方、熱処理条件はいずれも本発明で規定する範囲にあるが、鋼の化学組成が本発明で規定する範囲から外れる場合にも(試験番号49～102)、定荷重試験で破断が生じ、耐SSC性が劣っていた。

【0079】

【発明の効果】本発明によれば、YSが110～155ksiの高強度でも耐SSC性に優れる鋼が得られ、油井やガス井用のケーシングやチュービング、掘削用のドリルパイプ、輸送用のラインパイプ、さらには化学プラント用配管などに用いることができ産業上の効果は極めて大きい。

フロントページの続き

ドターム(参考) 4k032 AA01 AA02 AA05 AA08 AA11
AA12 AA16 AA19 AA21 AA22
AA23 AA26 AA27 AA29 AA31
AA35 AA36 AA37 AA39 BA03
CA02 CA03